

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
INGENIERÍA ELÉCTRICA LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA

PRÁCTICA 10

Análisis de estabilidad de tensión

Autor 1: Luis Alejandro Álvarez Rengifo, Autor 2: Camilo Cortés López
Correos: luisalejandro.alvarez@utp.edu.co / camilo.cortes@utp.edu.co

Grupo 4

Subgrupo 1

Pereira, Noviembre 5 de 2020

Risaralda, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

Resumen— La estabilidad de tensión en un sistema de potencia, es el análisis por el cual se determina la capacidad de un SEP de mantener un nivel de tensión en cada nodo, dentro de unos márgenes cuando este se ve sometido a perturbaciones. Gracias a este análisis se puede determinar entonces cuáles serían los puntos de colapso o no retorno a la estabilidad. La práctica correspondiente se basa en determinar el comportamiento y análisis de la estabilidad de tensión para un sistema de prueba IEEE de 14 nodos que posee el software NEPLAN. Aquí se obtendrán análisis de sensibilidad $Q-V$, análisis modal, análisis $P-V$ y por factores de participación, los cuales constituyen los métodos estáticos de análisis para estabilidad de tensión.

Palabras clave— Análisis, Estabilidad, Potencia, Tensión, Sensibilidad, Sistemas.

Abstract— Voltage stability in a power system is the analysis by which it is determined the ability of a SEP to maintain a voltage level at each node within certain margins, when it is subjected to disturbances. Thanks to this analysis it is possible to determine what would be the points of collapse or no return to stability. The corresponding practice is based on determining the behavior and analysis of the voltage stability for a 14-node IEEE test system that has the NEPLAN software. Here, $Q-V$ sensitivity analysis, modal analysis, $P-V$ analysis and participation factor analysis will be obtained, which constitute the static methods of analysis for stress stability.

Keywords— Analysis, Stability, Power, Voltage, Sensitivity, Systems.

I. INTRODUCCIÓN.

Un sistema de potencia funciona en un estado de equilibrio estable desde el punto de vista de la tensión, siempre que las tensiones en todas las barras estén dentro de un rango aceptable. Cuando se produce una perturbación en el sistema, este es capaz

de retomar en un tiempo rápido a un estado de equilibrio, en que las tensiones en todas las barras estén dentro de un rango permitido. Por otra parte, al obtener los valores propios, sensibilidad, factores de participación, curvas $P-V$ y $Q-V$, muestran la sensibilidad y variación del voltaje en un nodo o rama; las cuales son útiles para examinar los requerimientos de compensación reactiva en los sistemas de potencia.

II. PROCEDIMIENTO

Primeramente se realiza el ejemplo de la figura 1.(Sistema IEEE 14 nodos tomado de los ejemplos de Neplan).

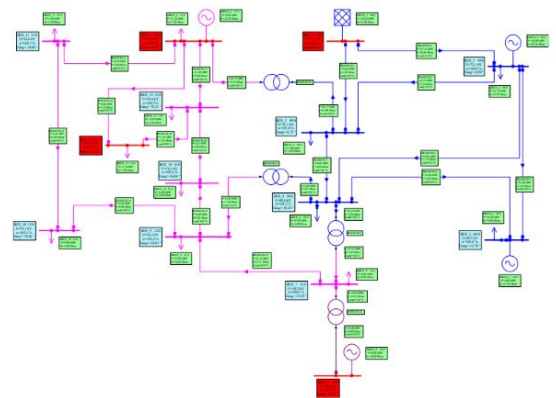


Figura 1.(Sistema IEEE 14 nodos tomado de los ejemplos de Neplan.)

Posteriormente se selecciona la opción de estabilidad de voltaje como se indica en la figura 2

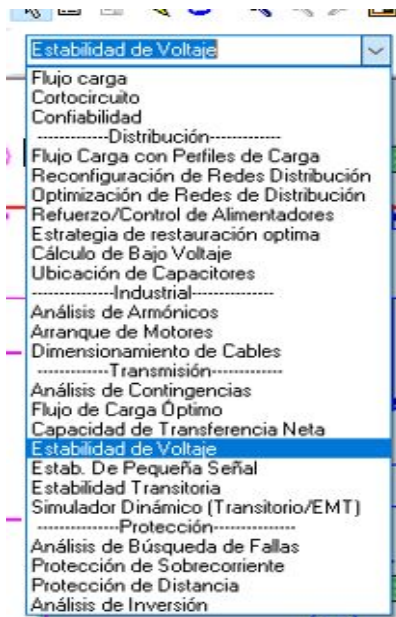


Figura 2.(estabilidad de voltaje)

Seguidamente se modifican los parámetros de análisis de sensibilidad y análisis modal, habilitando la sensibilidad V-Q y análisis modal V-Q, además de modificar los parámetros como lo indica la Figura 3.

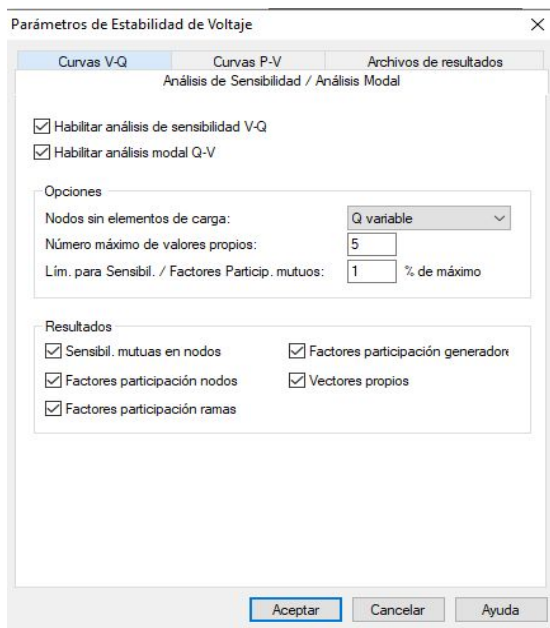


Figura 3.(configuración de análisis de sensibilidad / análisis modal)

Luego en la ventana curvas V-Q de la figura 3 se modifican los parámetros que se muestra en la Figura 4.

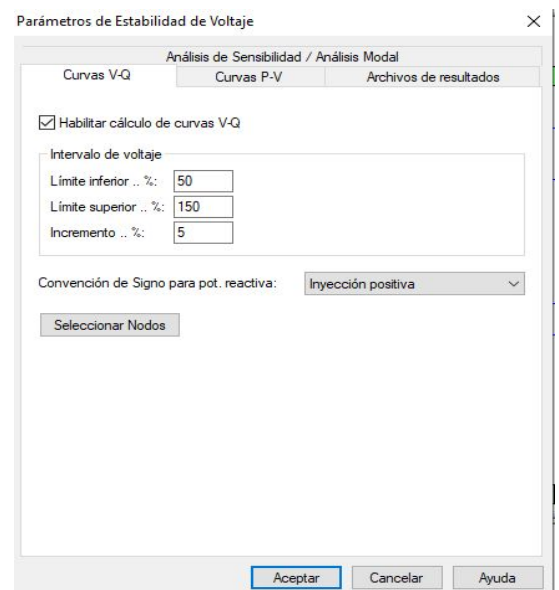


Figura 4.(curvas V-Q)

En la ventana curvas P-V de la figura 3, se modifican los parámetros así como los indica la figura 5.

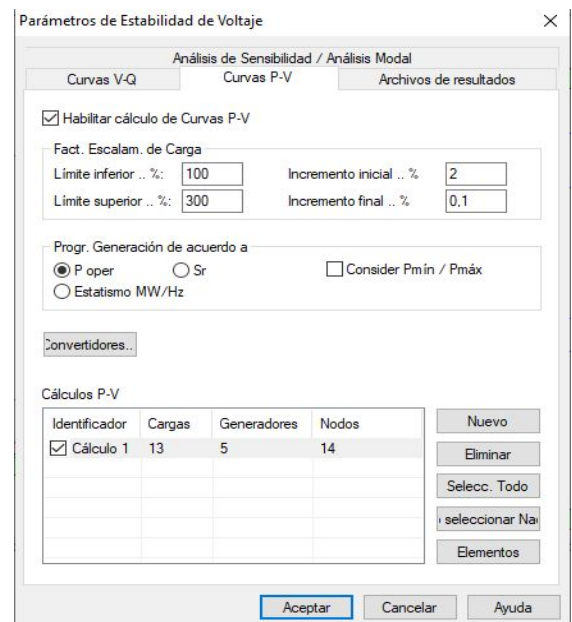


Figura 5.(curvas P-V)

Por último se corre el programa y se obtiene los siguientes resultados :

- **Grafico con las sensibilidades V-Q calculadas por NEPLAN.**

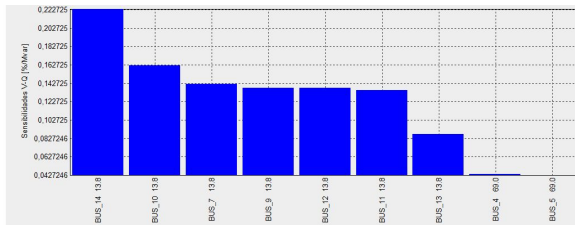


Figura 6.(sensibilidad V-Q)

En la figura 6 se observa inestabilidad en las barras 14,10,7,9,12,11 y 13; la barra que más inestabilidad presenta es la barra 14, claramente su sensibilidad es mucho mayor que las demás barras. Por otra parte, la barra 4 es un poco más estable y por ende presenta menor sensibilidad.

- **Valores propios**

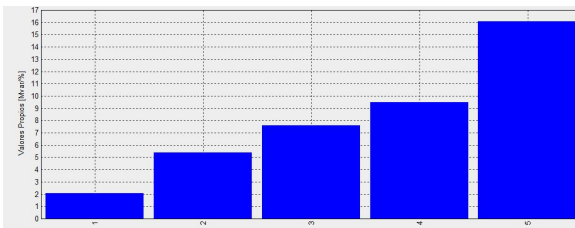


Figura 7.(valores propios)

En la figura 7 se presentan 5 valores propios bien definidos del sistema; los valores propios más críticos son de 9.49 y de 16.1. Se observa que tienen un comportamiento creciente.

- **Valores propios más críticos del sistema.**

Los valores propios más críticos se encuentran en el Bus 5 y Bus 4, estos valores propios se pueden corroborar con los valores propios de la figura 7 y su respectivo análisis.

- **Factores de participación de nodo**

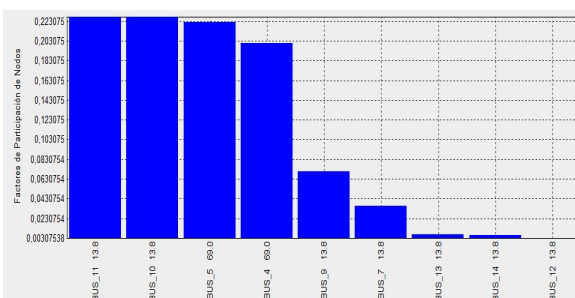


Figura 8.(factores de participación Nodos)

En la figura 8 se observa que el Bus 11,10,5 y 4 son los que presentan un mayor factor de participación nodal con respecto a las otras barras.

- **Factores de participación de Rama**

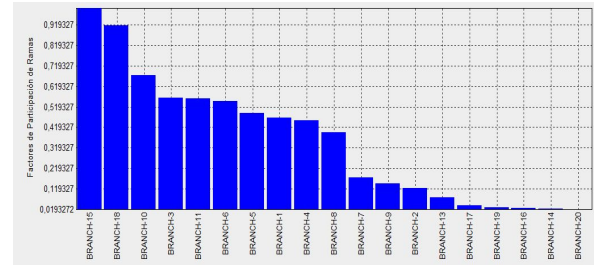


Figura 9.(factores de participación de Ramas)

En la figura 9 se observa claramente que la rama 15 y 18 son las que presentan un mayor factor de participación de la rama con respecto a las demás.

- **Curvas V-Q**

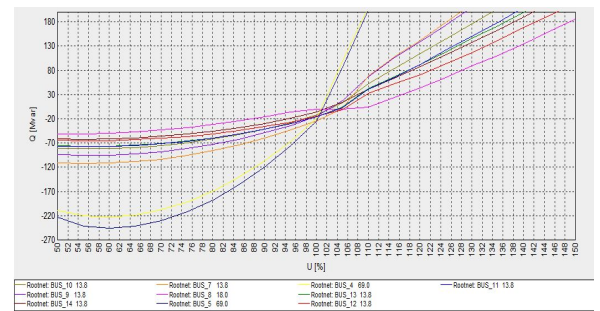


Figura 10.(curva V-Q)

En la figura 10 se encuentran las barras 4 y 5 con valores propios muy grandes negativamente, con relación a las demás barras del sistema.

- **3 nodos con mayor margen de potencia reactiva**

BUS_4 69.0	BUS_5 69.0	BUS_8 18.0	BUS_7 13.8
419 418	417 416		
Q [Mvar]	Q [Mvar]	Q [Mvar]	Q [Mvar]
-208,981939	-222,963809	-51,434481	-110,904101
-220,456920	-241,063415	-51,119972	-112,439429
-223,055716	-245,596855	-49,634319	-111,638501
-218,673021	-241,603192	-46,970379	-108,553812
-207,973251	-230,320473	-43,121953	-103,216668
-191,267524	-212,263700	-38,083793	-95,646502
-168,722931	-187,692942	-31,851264	-85,855546
-140,434820	-156,752829	-24,420278	-73,851472
-106,458024	-119,526793	-15,787205	-59,638931
-66,822264	-76,062176	-5,948792	-43,220513
-18,879911	-24,429741	-0,000000	-24,311132
97,285695	85,050264	-0,000000	1,551446
210,215894	203,594913	4,736819	67,946474
279,231693	289,445622	23,524988	107,221783
348,544857	365,209453	43,843510	142,011977
423,575434	447,261214	65,693294	178,749497
504,346013	535,616533	88,642018	216,913369
590,884920	630,298328	111,031044	255,140295
683,225097	731,335332	134,782862	292,558043
781,403574	838,761231	159,898656	332,175596
885,460985	952,613760	185,832113	373,996610

Figura 11.(valores V-Q max)

En la figura 11 se puede observar claramente los valores con mayor margen de error los cuales se encuentran en las barras 4,5 y 7; esto se puede corroborar con la figura 10.

- 3 nodos con menor margen de potencia reactiva

BUS_11 13.8	BUS_12 13.8	BUS_13 13.8	BUS_4 69.0	BUS_5 69.0	BUS_8 18.0	BUS_7 13.8	BUS_14 13.8
415 414	413 411	410 410	417 416	417 416	417 416	417 416	417 416
Q [Mvar]	Q [Mvar]	Q [Mvar]	Q [Mvar]	Q [Mvar]	Q [Mvar]	Q [Mvar]	Q [Mvar]
-76,442096	-64,436562	-75,631368	-208,301339	-222,963089	-51,434481	-110,904101	-61,434158
-77,484517	-65,320044	-76,846509	-220,456920	-241,863415	-51,119972	-112,439429	-62,067309
-77,810604	-66,973308	-76,513449	-223,055716	-245,596855	-49,634319	-111,638501	-61,407827
-75,005402	-63,377900	-74,624150	-218,673021	-241,603192	-46,970379	-108,553812	-59,440464
-71,455488	-60,517103	-71,170942	-207,973251	-230,320473	-43,121953	-103,216668	-56,159800
-66,340784	-56,375479	-66,146204	-191,267524	-212,263700	-38,083793	-95,646902	-51,526029
-59,974581	-50,938523	-59,542456	-160,722931	-187,692942	-31,851264	-85,855546	-45,553029
-51,423245	-44,132394	-51,352322	-140,434020	-156,752829	-24,420278	-73,851472	-38,220828
-41,856682	-36,123713	-41,568491	-106,458024	-119,526793	-15,787205	-59,638931	-29,515535
-30,153030	-26,719389	-30,183639	-66,822264	-76,062176	-5,948792	-43,220513	-18,881213
-16,024138	-14,961606	-16,089742	-18,879911	-24,429741	-0,000000	-24,311132	-5,088216
-7,496680	-11,599458	3,667371	97,285095	85,090264	-0,000000	1,551446	14,533013
41,112195	32,851667	43,801536	210,215804	203,590913	4,736819	67,946474	40,849996
65,687148	51,693919	66,575634	279,231693	289,445622	23,524088	107,221783	63,915915
92,377025	71,261987	92,167609	348,544857	365,209453	43,843510	142,811977	87,161085
121,215509	93,000512	117,572117	423,575434	447,261214	65,693294	178,749497	112,294571
150,25070	116,448103	146,563848	504,346013	535,616533	88,642018	216,913369	137,667129
179,223532	141,628997	172,249097	590,804920	630,298328	111,811044	255,140295	163,008002
210,309343	168,334607	199,293115	683,259097	731,335332	134,702062	292,558043	189,997542
242,016422	192,984184	228,006413	781,403574	838,761231	159,898656	332,175596	218,575563
275,841088	219,138868	268,399129	885,460905	952,613760	185,832113	373,996610	248,241187

Figura 12.(valores V-Q min)

En la figura 12 se puede observar claramente los valores con menor margen de error los cuales se encuentran en las barras 11,12 y 14; esto se puede corroborar con la figura 10, en donde estas curvas no presentan pendientes tan pronunciadas como las demás.

- Curvas P-V

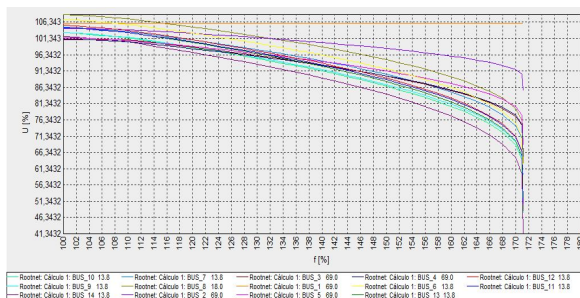


Figura 13. (curva P-V)

En la figura 13 se puede observar que las curvas en un tiempo definido colapsan, esto se puede observar mejor en la figura 14.

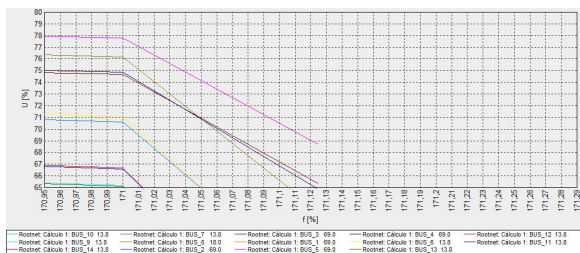


Figura 14. (tiempo de colapso)

En la figura 14 se puede observar que con un f(%) de 171 el voltaje colapsa en todo el sistema.

- 3 nodos con mayor margen de cargabilidad

GNBUS_2 69.0	GNBUS_1 69.0	GNBUS_1 69.0
587	587	587
P [MW]	Q [MVAR]	P [MW]
-40,000000	-49,156580	-232,596557
-40,760098	-50,000000	-237,608633
-41,520195	-50,000000	-242,640527
-42,280293	-50,000000	-247,691029
-43,040391	-50,000000	-252,760531
-43,800488	-50,000000	-257,851387
-44,560586	-50,000000	-262,974487
-45,320683	-50,000000	-268,125671
-46,080781	-50,000000	-273,306213
-46,840879	-50,000000	-278,517531
-47,600976	-50,000000	-283,761113
-48,361074	-50,000000	-289,038631
-49,121172	-50,000000	-294,351908
-49,881269	-50,000000	-299,702957
-50,641367	-50,000000	-305,094005
-51,401465	-50,000000	-310,527529
-52,161562	-50,000000	-316,006301
-52,921660	-50,000000	-321,533432
-53,681758	-50,000000	-327,112443
-54,441855	-50,000000	-332,747345
-55,201953	-50,000000	-338,442733
-55,962050	-50,000000	-344,203928
-56,722148	-50,000000	-350,037141
-57,482246	-50,000000	-355,949699
-58,242343	-50,000000	-361,950586
-59,002441	-50,000000	-368,050178
-59,762539	-50,000000	-374,261756
-60,522636	-50,000000	-380,601919
-61,282734	-50,000000	-387,092137
-62,042832	-50,000000	-393,761058
-62,802929	-50,000000	-400,648490
-63,563027	-50,000000	-407,812788
-64,323125	-50,000000	-415,346124
-65,083222	-50,000000	-423,411181
-65,843320	-50,000000	-432,361488
-66,603417	-50,000000	-443,372276
-66,983466	-50,000000	-453,250271
-67,030972	-50,000000	-480,188547

BUS_11 13.8	BUS_12 13.8
415 414	413
P [MW]	U [%]
259,000000	104,663476
264,180000	104,545096
269,360000	104,217367
274,540000	103,885129
279,720000	103,548254
284,900000	103,166622
290,080000	102,610144
295,260000	102,042029
300,440000	101,461666
305,620000	100,868378
310,800000	100,261440
315,980000	99,640042
321,160000	99,003295
326,340000	98,350212
331,520000	97,679696
336,700000	96,990521
341,880000	96,281307
347,060000	95,550497
352,240000	94,796318
357,420000	94,016740
362,600000	93,209421
367,780000	92,371634
372,960000	91,500173
378,140000	90,591233
383,320000	89,640072
388,500000	88,641267
393,680000	87,587736
398,860000	86,470575
404,040000	85,278166
409,220000	83,994862
414,400000	82,598700
419,580000	81,057141
424,760000	79,318203
429,940000	77,289002
435,120000	74,764646
440,300000	71,053246
442,890000	66,594677
443,213750	50,520574

Figura 15. (valores P-V max)

En la figura 15 se puede observar claramente los valores con mayor margen de cargabilidad, los cuales se encuentran en las barras 1,2 y 11; esto se puede corroborar con la figura 13.

- 3 nodos con menor margen de cargabilidad

GNBUS_2	69.0	GNBUS_1	69.0	GNBUS_1	69.0
587		587			
P [MW]		Q [MVAR]		P [MW]	
-40,000000		-49,156580		-232,596557	
-40,760098		-50,000000		-237,608633	
-41,520195		-50,000000		-242,640527	
-42,280293		-50,000000		-247,691029	
-43,040391		-50,000000		-252,760531	
-43,800488		-50,000000		-257,851387	
-44,560586		-50,000000		-262,974487	
-45,320683		-50,000000		-268,125671	
-46,080781		-50,000000		-273,306213	
-46,840879		-50,000000		-278,517531	
-47,600976		-50,000000		-283,761113	
-48,361074		-50,000000		-289,038631	
-49,121172		-50,000000		-294,351908	
-49,881269		-50,000000		-299,702957	
-50,641367		-50,000000		-305,094005	
-51,401465		-50,000000		-310,527529	
-52,161562		-50,000000		-316,006301	
-52,921660		-50,000000		-321,533432	
-53,681758		-50,000000		-327,112443	
-54,441855		-50,000000		-332,747345	
-55,201953		-50,000000		-338,442733	
-55,962050		-50,000000		-344,203928	
-56,722148		-50,000000		-350,037141	
-57,482246		-50,000000		-355,949699	
-58,242343		-50,000000		-361,950586	
-59,002441		-50,000000		-368,050178	
-59,762539		-50,000000		-374,261756	
-60,522636		-50,000000		-380,601919	
-61,282734		-50,000000		-387,092137	
-62,042832		-50,000000		-393,761058	
-62,802929		-50,000000		-400,648490	
-63,563027		-50,000000		-407,812788	
-64,323125		-50,000000		-415,346124	
-65,083222		-50,000000		-423,411181	
-65,843320		-50,000000		-432,361488	
-66,603417		-50,000000		-443,372276	
-66,983466		-50,000000		-453,250271	
-67,030972		-50,000000		-480,188547	

BUS_11	13.8	BUS_12	13.8
415	414	413	
P [MW]		U [%]	
259,000000		104,663476	
264,180000		104,545096	
269,360000		104,217367	
274,540000		103,885129	
279,720000		103,548254	
284,900000		103,166622	
290,080000		102,610144	
295,260000		102,042029	
300,440000		101,461666	
305,620000		100,868378	
310,800000		100,261440	
315,980000		99,640042	
321,160000		99,003295	
326,340000		98,350212	
331,520000		97,679696	
336,700000		96,990521	
341,880000		96,281307	
347,060000		95,550497	
352,240000		94,796318	
357,420000		94,016740	
362,600000		93,209421	
367,780000		92,371634	
372,960000		91,500173	
378,140000		90,591233	
383,320000		89,640072	
388,500000		88,641267	
393,680000		87,587736	
398,860000		86,470575	
404,040000		85,278166	
409,220000		83,994862	
414,400000		82,598700	
419,580000		81,057141	
424,760000		79,318203	
429,940000		77,289002	
435,120000		74,764646	
440,300000		71,053246	
442,890000		66,594677	
443,213750		50,520574	

Figura 16. (valores P-V min)

Los valores mínimos de la figura 16 se encuentran en las barras 1,2 y 11 respectivamente, ya que son las únicas potencias activas que arroja el programa NEPLAN.

III. Preguntas del informe

5.1 De acuerdo con las sensibilidades V-Q obtenidas, ¿Qué indican las sensibilidades V-Q y cuáles son los 3 nodos más críticos del sistema?

Las sensibilidades Q-V indican cuánto cambia la magnitud de la tensión cuando hay un aumento de potencia reactiva. Eso significa que, ante una sensibilidad pequeña, la magnitud de la tensión no se altera tan significativamente, pero, si esta es grande, significa que la tensión cambia bruscamente.

5.2 De acuerdo con los valores propios obtenidos, ¿Que indican los valores propios y cuál es el valor propio más crítico?

Los valores propios de un análisis modal del sistema. Si un valor propio es positivo significa que el sistema es estable, y si es más positivo es más estable.

5.3 Para los factores de participación de nodo y factores de participación de rama obtenidos para los 2 valores críticos, ¿Cuáles son los nodos y ramas con mayor factor de participación y que significado tienen estos factores de participación de rama y nodo?

Los factores de participación de rama indican la dependencia que existe entre el valor propio y cada una de las ramas, entre más grande sea este valor más grande será el cambio del valor propio con el cambio de esa rama. Los factores de participación de nodo indican lo mismo, pero en vez de indicar la dependencia con las ramas, lo hacen con los nodos.

5.4 De las curvas V-Q anexadas, determine el valor del margen de potencia reactiva (ΔQ) para el nodo con menor y mayor margen. ¿Qué indica el margen de potencia reactiva?

Los márgenes de Q y de cargabilidad dan una idea de que tan cercano está un sistema a entrar en colapso. Si ambos márgenes son grandes, significa que el sistema no es propenso a estar en el punto crítico, pero si dicho margen es pequeño, significa que fácilmente el sistema podría caer en el punto de no retorno a la estabilidad

5.5 De las curvas P-V anexadas, ¿cuál es el valor de cargabilidad máxima obtenido para el sistema y cuál es el valor de tensión en el punto crítico para

el nodo con menor y mayor margen de cargabilidad? ¿Qué indica el margen de cargabilidad?

El margen de cargabilidad indica la cantidad de potencia activa que se puede entregar a una carga antes de alcanzar el punto de colapso en la tensión.

[3]J. F. Bedoya Villamil y W. F. Isaza Perez, Estabilidad de Tensión por el Método del Análisis Modal en el Sistema Eléctrico de Pereira, Pereira, 2011.

[4]<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1767/6213743L864.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IV. CONCLUSIONES.

- Si un factor de participación es significativamente alto, indica que una alteración a ese elemento implicará cambios bastante grandes en el sistema ya que son los que más aportan a la estabilidad o inestabilidad del sistema.
- En las curvas P-Q de la figura 10 presentan margen de vars ya que el punto crítico está por debajo del eje horizontal.
- Para solucionar el problema de la figura 10 se necesita inyecciones adicionales de potencia para poder compensar el margen de vars.
- De las curvas V-Q se registra que las barras 11, 12 y 14 presentan menor margen de potencia, como se evidencia en las gráficas 10 y 12; estas serían las barras más débiles que afectarían para un posible colapso de voltaje. Esto se debe a que son barras alejadas de los centros de generación.
- Analizando la figura 1 con respecto a la posición de las barras y la figura 6; tiene sentido al decir que la barra con mayor sensibilidad es la barra 14 y es porque los generadores están más alejados con respecto a las demás barras, por lo cual la tensión en la barra 14 presenta inestabilidad debido a la distancia.

V. REFERENCIAS

[1] J. Machowsski J. Bialek, J. R. Bumby. "Power System Dynamics: Stability and Control", 2nd. Ed., 2008.

[2] P. Quintana, ANÁLISIS MODAL APLICADO A LA ESTABILIDAD DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE POTENCIA, Sartenejas, 2006.